SCIENCE DU SOL 1985/2 - pp. 59-74 - PLAISIR-FRANCE

CARACTERISATION DE CINQ TOURBES OLIGOTROPHES REPRESENTATIVES D'UNE DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DANS LE JURA SUISSE [1]

J.-M. GOBAT [2], J.-M. PORTAL [3]

RESUME

Cinq tourbes oligotrophes du Jura suisse, représentatives d'une dynamique de la végétation, sont caractérisées au point de vue physique et chimique. Les résultats montrent un lien net entre l'évolution de la végétation et celle de la tourbe, l'ensemble des paramètres mesurés variant de manière conjointe. Dans un souci de protection des tourbières, il est discuté de manière plus détaillée l'évolution, à la suite d'une action humaine, d'une tourbe naturelle climacique vers une tourbe dégradée. Cette dernière, bien qu'acquérant des caractères « évolués » (dégradation du matériel végétal, taux d'extraction plus élevé, rapport AF/AH bas, etc.), se révèle encore plus défavorable à la végétation qu'une tourbe fibrique intacte.

INTRODUCTION

Si la végétation des tourbières du Jura est maintenant bien connue (ROYER *et al.*, 1978 ; GALLANDAT, 1982), il n'en est pas de même en ce qui concerne les sols. Quelques descriptions de profils tourbeux du Jura ont paru chez RICHARD (1961), GAIFFE (1978), BRUCKERT et GAIFFE (1980) et GOBAT (1984), mais seule DOMMERGUE (1981) a étudié un peu plus en détail la tourbe elle-même.

Ce travail vise à préciser quelques caractères physiques et biochimiques de la tourbe oligotrophe, et à les relier à la dynamique de la végétation.

Les principaux caractères étudiés sont :

— le taux de fibres, qui permet de mesurer la proportion de matériel tourbeux peu dégradé par rapport au fin (fibres = matériel d'un diamètre moyen supérieur à 200 µm, par définition — BASCOMB *et al*, 1977) ;

— l'indice au pyrophosphate de sodium, selon KAILA (1956) — ci-après : indice « pyro » —, qui permet d'évaluer l'état de décomposition chimique du matériel ; cette méthode, ainsi que la précédente, n'indique l'état de dégradation que pour des tourbes de type semblable (GROSSE-BRAUCKMANN, *in* GOETTLICH *et al.*, 1980), ce qui est le cas ici (tourbes oligotrophes à sphaignes, provenant de la même tourbière) ;

— le taux d'extraction dans la soude et le rapport AF/AH, qui traduisent l'état d'humification du matériel ;

— quelques caractères sommaires des acides humiques.

---

(1) Ce travail a été effectué lors d'un stage post-doctoral au Centre de Pédologie biologique de Vandœuvre-les-Nancy, et soutenu par une bourse du Fonds national suisse de la Recherche scientifique.

(2) Laboratoire d'écologie végétale, Institut de Botanique, 22, ch. de Chantemerle, CH - 2000 Neuchâtel (Suisse).

(3) Centre de Pédologie biologique, 17, rue Notre-Dame des Pauvres, F - 54500 Vandœuvre-les-Nancy.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

I. METHODES ET MILIEUX ETUDIES

A) Méthodes

Les méthodes utilisées sont celles du Centre de Pédologie biologique de Nancy (BRUCKERT *et al*, 1978). Certaines d'entre elles ont été adaptées au matériel particulier qu'est la tourbe, en tenant compte notamment des travaux de LEVESQUE *et al.* (1980, 1981) au Canada (fig. 1).

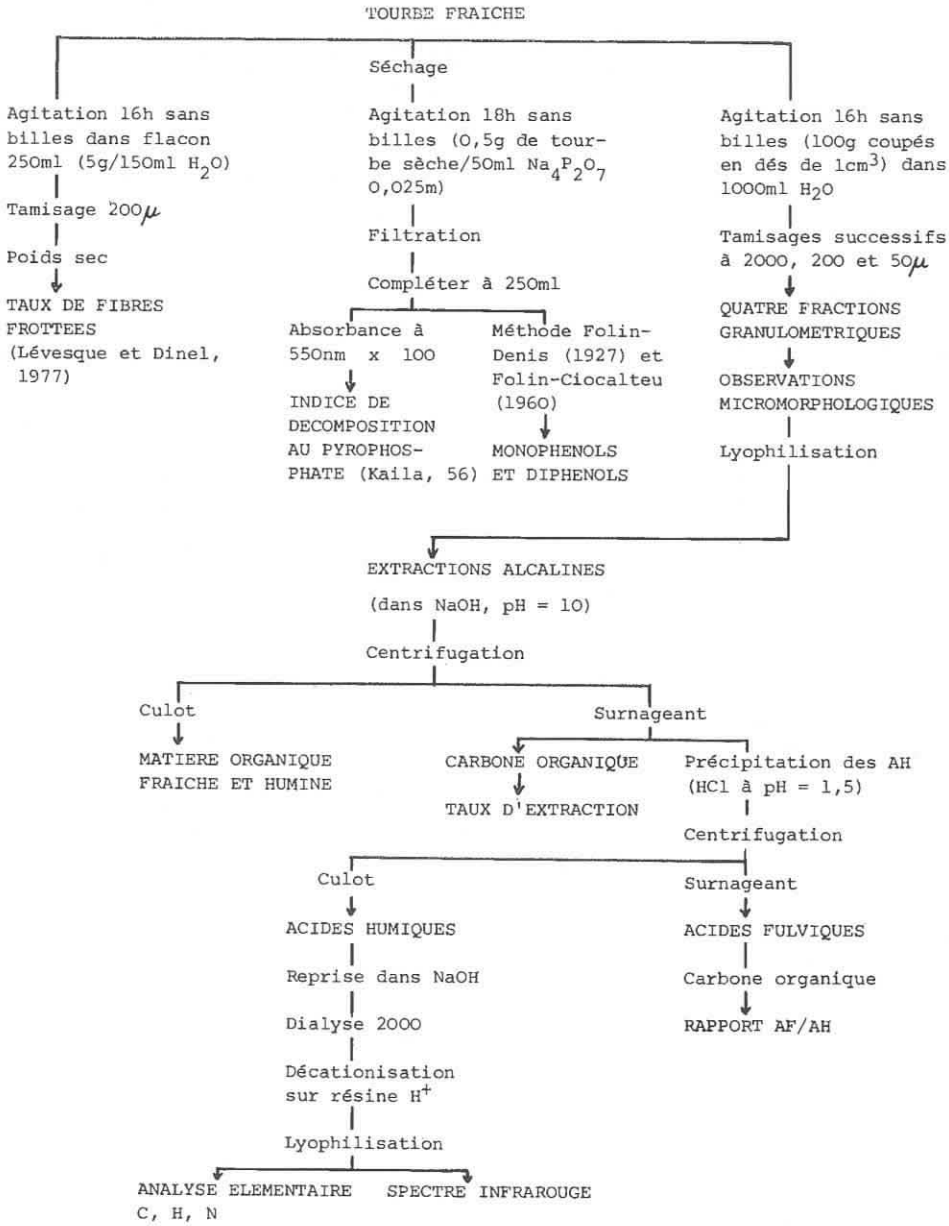

Figure 1 : Organigramme des méthodes utilisées
Overview of the methods used

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

Le tamisage a été conduit sous H_2O. Les quatre fractions définies par tamisage à 2 000, 200 et 50 µm sont quantifiées et analysées séparément. L'extraction des composés organiques a été faite à la soude diluée, en ajustant le pH d'extraction à 10, ce qui ne semble pas lyser les parois cellulaires (RAFIDISON, 1982).

B) Milieux étudiés

1 - Végétation

Les tourbes étudiées proviennent de la tourbière des Pontins sur Saint-Imier, dans le Jura suisse (BUTTLER et CORNALI, 1983). Elles ont été prélevées à dessein dans cinq groupements végétaux dont on connaît la dynamique d'évolution, naturelle du groupement A *(Sphagno-Caricetum)* au groupement C *(Pino-Sphagnetum)*, artificielle du groupement C au groupement E (Lande à *Calluna)*.

A. *Sphagno-Caricetum rostratae* (Cariçaie)

Groupement pionnier de colonisation d'eau libre ; tourbe oligotrophe très jeune, en voie d'établissement actuellement ; nappe superficielle, à 0,5 cm de profondeur annuelle moyenne.

Espèces dominantes : *Sphagnum recurvum, Carex rostrata* (recouvrement total : 100 %).

B. *Sphagnetum magellanici* (Haut-marais)

Groupement typique de la tourbière bombée non boisée ; tourbe ancienne, à nappe proche de la surface (7 cm de profondeur moyenne).

Espèces dominantes : *Sphagnum magellanicum, Eriophorum vaginatum, Drosera rotundifolia, Andromeda polifolia* (recouvrement total : 100 %).

C. *Pino mugo-Sphagnetum* (Pinède)

Groupement climacique des tourbières bombées jurassiennes (forêt de pins) ; tourbe ancienne, à niveau phréatique plus bas (— 19 cm).

Espèces dominantes : *Sphagnum magellanicum, Vaccinium myrtillus, V. uliginosum, Pinus mugo* (recouvrement total : 100 %).

D. *Sphagno-Piceetum* (Pessière)

Groupement de ceinture de la tourbière (forêt d'épicéas), succédant à la pinède en cas de drainage artificiel ; tourbe ancienne plus sèche, avec nappe plus profonde (— 55 cm) et litière d'aiguilles ; tendance à la formation d'un mor.

Espèces dominantes : *Sphagnum acutifolium, S. girgensohnii, S. palustre, Vaccinium myrtillus, Picea abies* (recouvrement total : 80 %).

E. Lande à *Calluna vulgaris*

Groupement de dégradation de la tourbière, s'établissant après drainage, déboisement et râclage de la tourbe superficielle (effectués ici en 1942, dans une pinède) ; tourbe ancienne, à nappe très fluctuante (moyenne à — 18 cm), sans litière (tourbe nue en surface).

Espèces dominantes : *Polytrichum strictum, Calluna vulgaris, Eriophorum vaginatum* (recouvrement total : 20 %).

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

Tableau 1 : Caractères généraux des profils
Global characteristics of the profiles

ECH.	PROF. (cm)	DESCRIPTION	MUN-SEL. (humide)	CEN-DRES %	pH eau	FIBRES %	INDICE « PYRO »	PHENOLS MONO. (mg/g)	PHENOLS DI.
SPHAGNO-CARICETUM (Cariçaie)									
A0	+ 5-0	Sphaignes vivantes, tiges de *Carex*	n.d.	4,0	3,8	99,0	5,4	3,6	0
A1	0-4	Tourbe très fibreuse, gaines	10 YR4/6	1,8	4,0	99,0	3,7	2,5	0,3
A2	4-12	idem, peu de radicelles	10 YR3/4	2,1	4,1	94,3	4,4	2,9	0
A3	12-20	id., plus de gaines, moins de sphaignes	10 YR2/3	1,7	4,2	88,5	5,6	3,9	0
SPHAGNETUM MAGELLANICI (Haut-marais)									
B0	+ 5-0	Sphaignes vivantes ; herbacées ; lign.	n.d.	4,0	4,3	99,0	6,3	4,3	0,3
B1	0-4	T. fibreuse, beaucoup de radicelles	7,5 YR4/6	3,1	4,1	99,0	4,6	3,3	0
B2	4-10	idem, moins de radicelles	10 YR4/6	2,4	3,7	98,0	4,9	2,5	0
B3	10-15	Moins fibreux, plus de racines moy.	10 YR3/4	1,5	3,7	80,3	4,3	2,6	0
PINO-SPHAGNETUM (Pinède)									
C0	+ 5-0	Sphaignes vivantes ; herbacées ; lign.	n.d.	3,6	4,1	99,0	4,9	2,9	0
C1	0-3	Sphaignes non décomposées, bcp racines	5 YR3/5	1,4	3,8	83,2	4,4	2,6	0
C2	3-7	Un peu plus décomposé, plus compact	5 YR3/4	2,8	3,8	85,8	5,1	2,6	0
C3	7-15	Sphaignes non reconnaissables, compact	5 YR2/3	15,7	3,4	48,6	14,6	6,1	0
SPHAGNO-PICEETUM (Pessière)									
D0	+ 5-0	Litière d'aiguilles, brindilles	n.d.	8,3	5,0	n.d.	14,3	9,8	2,2
D1	0-5	Humus brut compact, bcp de racines	2,5 YR2/3	6,0	4,1	68,1	14,7	10,3	1,3
D2	5-10	T. fibreuse lâche, bcp de racines	5 YR2/3	8,2	3,6	68,8	13,9	7,4	0,4
D3	10-15	idem, plus tassé	5 YR2/2	4,7	3,5	67,7	13,7	7,5	0
LANDE A CALLUNA									
E0	+ 2-0	*Polytrichum strictum* vivants	n.d.	2,4	3,6	n.d.	18,1	8,1	0,5
E1	0-3	Tourbe compacte, fibres très fines	5 YR1/2	3,3	3,6	41,5	20,7	9,8	0,3
E2	3-10	idem, bcp de fibres	5 YR1/3	8,3	3,9	61,7	19,0	11,1	0,8
E3	10-15	Tourbe très compacte, collante	2,5 YR1/2	8,3	3,8	50,2	19,6	9,1	0,1

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

2 - Echantillonnage des sols

Nous nous sommes limités à l'étude de la couche surperficielle du sol (0 à 20 cm), qui, dans ces milieux, paraît la plus importante pour la vie végétale et animale (MATTHEY, 1964 ; DAMMAN, 1978 ; GOBAT, 1984). Elle est d'autre part souvent considérée comme homogène dans la littérature, ce qui n'est à l'évidence pas le cas si on l'observe de près.

Les sols ont été découpés en blocs de 15×15×20 cm, puis décrits en laboratoire. Le matériau d'origine du sol (litière, sphaignes vivantes) a aussi été récolté. Le fractionnement a été effectué sur les 15 « horizons » (1) mis en évidence, à raison de trois par profil. Après examen des résultats, les fractions de 6 horizons représentatifs ont été sélectionnées pour les extractions.

II. RESULTATS

A) Caractères généraux des profils

Les cinq profils retenus sont constitués de tourbe oligotrophe acide, formée par accumulation de sphaignes (tabl. I).

Les taux de cendres sont très faibles, mais légèrement plus élevés pour les sphaignes vivantes que pour celles en cours de décomposition, ce qu'avait déjà observé DAMMAN (1978). On remarque qu'ils atteignent 16 % dans l'horizon de la pinède situé en dessous de 7 cm de profondeur. Ils sont faibles en surface dans la lande, les minéraux étant entraînés par le ruisellement superficiel intense (tourbe nue). L'acidité n'est guère discriminante d'un milieu à l'autre.

Le taux de fibres est très semblable pour les deux premiers groupements. Il diminue un peu dans la pinède en surface, de moitié en profondeur. Les valeurs de la pessière sont très constantes avec la profondeur, alors que celles de la lande sont assez variables (minimum en surface : 41 % de fibres).

Les résultats de l'indice « pyro » sont en général en proportion inverse des précédents, avec des valeurs maximales pour la lande, dans tous les horizons. L'horizon profond de la pinède ressemble ici à ceux de la pessière, alors qu'il était proche des horizons de la lande pour les fibres.

Les monophénols montrent des teneurs bien corrélées à l'indice « pyro » ($r = 0{,}94$), comme c'est le cas chez LEVESQUE (1981). L'hypothèse selon laquelle l'indice « pyro » reflète une décomposition chimique est en partie confirmée.

Les polyphénols ne sont guère abondants dans les milieux subissant une évolution naturelle (milieux A à C). Ils sont bien présents, par contre, dans la pessière, ce qui est peut-être lié au type de litière.

B) Classification de la tourbe

Les horizons relèvent tous de la tourbe fibrique (plus de 40 % de fibres, selon SSSA, 1974). En tenant compte à la fois du taux de fibres et de l'indice « pyro » (LEVESQUE *et al.*, 1980), nous pouvons affiner un peu la classification.

On observe alors que les horizons de la lande sont hors classes, puisque fibriques par leur taux de fibres et mésiques selon l'indice « pyro » ; ceci correspond à un état instable de cette tourbe, comme nous le confirmerons plus loin (fig. 2).

(1) Le terme « horizon » n'est pas utilisé ici avec un sens pédologique précis. Les couches de tourbe mises en évidence sont en fait des subdivisions d'un horizon (au sens strict) Ao ou T.

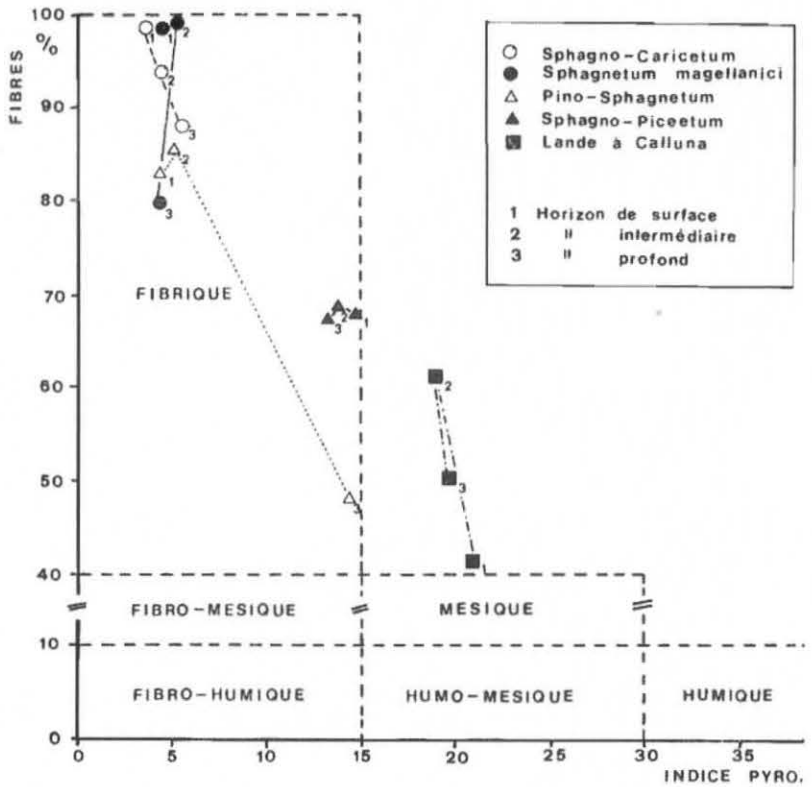

Figure 2 : Classification des horizons selon le taux de fibres et l'indice au pyrophosphate de sodium

Classification of the horizons, according to the fiber content and the pyrophosphate index

C) Etat de décomposition

La figure 2 nous permet aussi d'estimer l'état de décomposition des tourbes.

Selon LEVESQUE (1981), une diminution du taux de fibres signale une dégradation physique de la tourbe, alors qu'une augmentation de l'indice « pyro » traduit avant tout une décomposition chimique plus avancée. Nous pouvons confirmer cette différence par plusieurs résultats d'ordre micromorphologique ou par la comparaison des taux de phénols par exemple.

La cariçaie présente des horizons très fibriques, avec un indice « pyro » bas. Le léger gradient observé vers la profondeur traduit plus un « souvenir » d'un état antérieur de la tourbe — tourbe pionnière mésotrophe — qu'une dégradation de la toute récente tourbe oligotrophe. Ceci est confirmé par d'autres analyses pédologiques, portant sur des horizons plus profonds (GOBAT, 1984).

Le haut-marais ne montre aucune évolution chimique du matériau, mais l'horizon inférieur présente une dégradation physique plus avancée.

Les deux premiers horizons de la pinède sont encore nettement fibreux et peu décomposés, mais un seuil très important est visible quand on passe à l'horizon inférieur, qui n'est pourtant qu'à 12 cm de profondeur moyenne. Ainsi, le taux de fibres passe de 83 à 49 %, l'indice « pyro » de 4,4 à 14,6, à la limite des conditions mésiques. Cette particularité a été retrouvée par DOMERGUE (1981) et GROSVERNIER (1984).

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

Les trois horizons de la pessière sont très proches les uns des autres et aucune évolution relative de la tourbe n'est visible dans les 20 premiers centimètres. L'indice «pyro» est assez élevé, signe de la présence de nombreux produits de décomposition, et notamment de polyphénols.

Les trois horizons de la lande sont bien différenciés des autres, surtout à cause d'un indice « pyro » élevé. L'horizon superficiel présente les caractères les plus évolués, contrairement aux autres profils, où il s'agit plutôt de l'horizon profond. Cet horizon de surface se dégrade suite aux modifications brutales du milieu.

D) Composition granulométrique

Les fractions obtenues sont présentées dans le tableau 2. Les variations des rapports pondéraux se font selon deux axes :

— A TRAVERS LES GROUPEMENTS

La fraction supérieure à 2 000 µm, majoritaire dans la cariçaie (A), devient minoritaire par la suite, voire quasi absente dans la lande (E). Le taux de matériel non fibreux augmente assez régulièrement et atteint dans la lande le triple de sa valeur dans la tourbe jeune (41 % contre 14 %).

— AVEC LA PROFONDEUR

De manière générale, on observe une augmentation des particules fines et une diminution des fibres grossières avec la profondeur. Le seuil de 20 % de fibres grossières (> 2 mm) est situé à plus de 15 cm de profondeur en A (cariçaie), à 10 cm en B (haut-marais), à 5 cm en C (pinède), à 0 cm en D (pessière) et E (lande). La relation entre la proportion de fibres grossières et la dynamique de la végétation est nette.

Tableau 2 : Importance des différentes fractions granulométriques, par rapport au poids de l'échantillon

Importance of the granulometric fractions, according to the sample' weight.

ECHANTILLON	PROFONDEUR (cm)	FRACTIONS GRANULOMETRIQUES (%) > 2mm	2-0,2mm	0,2-0,05	<0,05
A1	0-4	52,3	37,4	3,4	6,4
A2	4-12	56,1	31,9	4,3	7,7
A3	12-20	53,6	24,7	5,9	15,8
Moyenne	0-20	54,2	31,3	14,5	
B1	0-4	32,2	49,5	7,0	11,3
B2	4-10	36,2	50,4	3,7	9,7
B3	10-15	15,0	67,9	6,8	10,3
Moyenne	0-15	27,3	55,9	16,3	
C1	0-3	31,5	53,8	4,9	9,8
C2	3-7	19,3	54,0	15,7	10,1
C3	7-15	17,2	39,0	19,1	24,7
Moyenne	0-15	22,7	48,9	33,1	
D1	0-5	15,7	59,0	14,5	10,8
D2	5-10	14,6	59,5	12,6	13,2
D3	10-15	14,3	54,9	14,2	16,6
Moyenne	0-15	14,9	57,8	27,3	
E1	0-3	1,7	49,4	26,0	22,9
E2	3-10	0	64,1	18,6	17,3
E3	10-15	0,2	60,5	15,6	23,7
Moyenne	0-15	0,6	58,0	41,3	

Tableau 3 : Descriptions micromorphologiques

Micromorphological descriptions of the granulometric fractions.

ECHANTILLON	FRACTION > 2 mm	FRACTION 2 à 0,2 mm	FRACTION 0,2 à 0,05 mm	FRACTION < 0,05 mm
A2 (Cariçaie)	Feuilles de sphaignes entières, tiges de sphaignes, gaines de *Carex*	Feuilles de sphaignes entières à cellules intactes ; gaines de *Carex* à cellules intactes	Fragments de feuilles de sphaignes déchirés, mais à cellules intactes	Pas d'observation
B2 (Haut-marais)	Feuilles de sphaignes intactes + restes ligneux d'éricacées	Gaines d'*Eriophorum*, brindilles d'éricacées, feuilles de sphaignes intactes à cellules entières	Fragments de tissus d'*Eriophorum* déchirés, pollens, cuticules d'insectes, mycéliums	Restes de parois cellulaires, pollens, matériel fin agrégé
C2 (Pinède)	Feuilles de sphaignes et d'éricacées, brindilles et aiguilles de pin.	Brindilles de bois sans écorce, gaines, feuilles de sphaignes intactes	Pollens, cuticules, pas de tissu végétal visible, seulement des bouts de cellules ; amas opaques à la lumière	Mycélium, restes de parois cellullaires ; rien n'est facilement reconnaissable
D2 (Pessière)	Feuilles de sphaignes et d'éricacées, brindilles et aiguilles d'épicéa.	Brindilles, morceaux de bois, feuilles de sphaignes intactes	Pas de tissu végétal, seulement des fragments de cellules déchiquetés ; pollens, amas opaques	Quelques restes de cellules, sinon matériel non figuré (amas opaques, matériel fin agrégé)
E2 (Lande)	Feuilles de *Polytrichum*	Feuilles de sphaignes déchirées à parois cellulaires plus ou moins entières ; gaines à cellules déchirées	Très nombreux débris (cellules déchirées, pollens, filaments, cuticules, amas opaques, matériaux fins agrégés)	Matériel presque entièrement non figuré (amas) ; quelques restes de cellules, de filaments

E) Caractéristiques des fractions

1 - Micromorphologie

Le tableau 5 permet les remarques suivantes, en passant du groupement A au groupement E :

— augmentation de la dégradation physique des cellules de sphaignes

— augmentation du nombre de types différents de débris

— augmentation de la proportion de matériel non figuré dans les classes de particules fines.

2 - Analyses biochimiques

En vue des extractions alcalines, nous avons sélectionné 6 échantillons représentatifs, et divisés en 4 fractions.

Ce choix permet :

— de tenir compte du matériau de départ (Ech. AO et CO) ;

— de comparer la jeune tourbe (A2), la tourbe climacique (C2 et C3) et la tourbe dégradée (E1) ;

— d'étudier en détail la dégradation due à la profondeur, entre les échantillons C2, rappelant la tourbe du haut-marais, et C3, plus proche de la lande.

Les résultats apparaissent au tableau 4.

Tableau 4 : Analyses biochimiques des fractions granulométriques (choix de 16 échantillons)

Biochemical analysis of the granulometric fractions (choice of 16 samples).

ECH.	PROF. (cm)	FRACTION	GROUPEMENT VEGETAL	C org. (%)	Taux d'extraction (%)	Rapport AF/AH	Rapport H/C des AH
AO	+5-0	---	Cariçaie	42,0	8,0	1,1	nd
A2	4-12	> 2mm		45,1	6,3	1,9	nd
		2 à 0,2		43,4	4,5	1,8	1,39
		0,2-0,05		45,2	6,1	1,9	nd
CO	+5-0	---	Pinède	45,9	8,6	0,7	nd
C2	3-7	> 2mm		49,7	8,1	1,1	nd
		2 à 0,2		50,1	7,0	1,1	1,35
		0,2-0,05		48,5	6,9	1,0	nd
		< 0,05		50,7	11,2	0,7	1,35
C3	7-12	> 2mm	Pinède	49,1	7,7	0,7	nd
		2 à 0,2		46,6	7,3	0,7	nd
		0,2-0,05		47,6	10,1	0,5	nd
		< 0,05		45,7	11,6	0,3	1,16
E1	0-3	2 à 0,2	Lande	48,6	12,2	0,3	1,11
		0,2-0,05		50,3	10,6	0,4	nd
		< 0,05		47,2	12,4	0,3	1,15

3 - Taux d'extraction (TEX)

Le TEX est faible dans toutes les fractions la tourbe jeune (A) ; il augmente dans la fraction inférieure à 50 µm de C3, ainsi que dans toutes les fractions de la tourbe dégradée. Les valeurs relativement hautes du TEX pour le matériel vivant (8 et 8,6 %) ne nous le font guère considérer comme un indicateur exact du degré d'humification, tout au moins pour des rapports inférieurs à 10 %. Seules les données de la lande et celles des fractions fines de la pinède nous semblent indicatrices d'une reélle évolution du matériel.

MENUT (1974) trouve, lui, des TEX compris entre 15 et 20 % en surface et 80 % en profondeur dans des gleys subtourbeux. DOMERGUE (1981) mesure des TEX de 15 % en surface de la pinède et de 24 % dans la lande à éricacées. Nos valeurs, en général plus faibles, sont dues à un pH d'extraction plus bas.

4 - Rapport AF/AH

MENUT (1974), en tourbe acide, obtient des valeurs inférieures à 0,50, sans grandes variations. DOMERGUE (1981) mesure des rapports de 0,23 en surface de lande à éricacées et de 0,94 en surface de forêt de pins.

Nos valeurs sont très proches de ces dernières :

— Le rapport AF/AH est le plus élevé (compris entre 1 et 2) dans la cariçaie. Il n'y a pas d'humification révélée par ce moyen dans ces horizons.

— Il décroît selon la taille des particules dans les deux horizons de la pinède, mais avec des valeurs en moyenne deux fois plus faibles pour l'horizon profond C3. Le seuil à 7 cm de profondeur est confirmé.

— Il est très bas et constant dans les fractions de la lande ; ceci est plus une preuve de la production de matériaux polycondensés par ce type de végétation (polyphénols de la callune, par exemple) que d'une réelle humification du matériau, comme en témoignent des taux de fibres finalement assez élevés.

F) Caractères des acides humiques

Dans ces matériaux où les processus d'humification sont à un stade très précoce, il était intéressant d'obtenir quelques caractéristiques concernant les acides humiques formés. Six échantillons parmi les seize ci-dessus ont été sélectionnés, trois dans la classe des fractions supérieures à 200 µm, trois dans la classe inférieure à 50 µm (tableau 4). Ceci permet de comparer les trois types de tourbe (jeune, climacique, dégradée), selon leur teneur en fibres et selon toute la gamme des TEX et rapports AF/AH obtenus.

1 - Analyse élémentaire

Les teneurs relativement faibles en carbone des AH suggèrent des teneurs en cendres assez élevées, dues soit au pH du réactif, qui ne dissocie pas tous les complexes, soit à une pollution naturelle du matériel (valable en tous cas pour l'échantillon A2, provenant d'une tourbe proche des zones minérales en bordure de la tourbière). Pour cette raison, nous nous sommes surtout appuyés sur la comparaison des rapports élémentaires H/C, qui sont, selon ANDREUX (1978), un indice d'aromaticité : on a considéré comme composés à dominance aromatique ceux dont le rapport H/C est inférieur à 1,25, et comme composés à dominance aliphatique ceux dont le rapport H/C est supérieur à 1,25.

Trois de nos échantillons ont des valeurs H/C $>$ 1,25 (tableau 4) :

A2 $>$ 200 µm : fibres de la tourbe jeune
C2 $>$ 200 µm : fibres de la tourbe climacique (3-7 cm de prof.)
C2 $<$ 50 µm : fibres de la tourbe climacique (3-7 cm).

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

Trois autres présentent des valeurs sensiblement inférieures :
C3 < 50 µm : fines de la tourbe climacique (7-12 cm)
E1 > 200 µm : fibres de la tourbe dégradée
E1 < 50 µm : fines de la tourbe dégradée.

Ce classement confirme celui obtenu à partir du TEX ou du rapport AF/AH. Il est intéressant de situer nos valeurs parmi d'autres concernant une litière de hêtres (RAFIDISON, 1982), un horizon A1 de podzol (ANDREUX, in BONNEAU et SOUCHIER, 1979) ou un A1 de sol brun ocreux (BARRIUSO, 1982), dans un gradient d'humification.

1. Feuilles brunes de hêtre	H/C = 1,45	aliphatiques dominants
2. Tourbe jeune (fibres)	1,39	
3. Tourbe climacique 3-7 cm (fines et fibres)	1,35	
4. A1 de podzol	1,20	aromatiques dominants
5. Tourbe climacique 7-12 cm (fines)	1,16	
6. Tourbe dégradée (fines et fibres)	1,13	
7. A1 de sol brun ocreux	1,07	

2 - Spectre infrarouge

Sans entrer dans une interprétation détaillée des courbes de densité optique obtenues (non présentées ici), signalons tout de même deux particularités :

— Le rapport COOH acides/OH alcooliques (DO. 1 720 cm-1/D.O. 1 080 cm-1) passe de façon régulière de 0,35 dans la tourbe jeune à 1,01 dans la tourbe dégradée. Ceci pourrait constituer un indice de « l'éloignement » progressif des AH du matériau d'origine, la tourbe jeune étant plus riche en fonctions OH alcooliques rappelant la cellulose. Il faudrait, pour confirmer ceci, faire la part exacte des minéraux dans le massif 1 100-1 000 cm-1.

— L'augmentation de la pente de la ligne de base entre 2 100 et 1 800 cm-1 correspond, selon DORMAAR (1967), à des AH de plus en plus polymérisés, une pente nulle ou négative indiquant des composés peu polymérisés. Dans notre cas, cette pente présente les valeurs suivantes :

A2 sup. à 200 µm : 3,1 % (tourbe jeune)
C2 sup. à 200 µm : 17,2 % (tourbe climacique 3-7 cm)
C2 inf. à 50 µm : 17,2 % (idem)
C3 inf. à 50 µm : 21,9 % (tourbe climacique 7-12 cm)
E1 sup. à 200 µm : 32,8 % (tourbe dégradée)
E1 inf. à 50 µm : 31,3 % (idem).

Ce paramètre IR est celui qui reflète le mieux l'évolution des AH de la tourbe. Il montre aussi le parallélisme existant entre l'évolution particulière des AH et l'évolution générale de la tourbe dont ils sont extraits.

III. Synthèse des résultats et discussion

La discussion générale qui suit permet de présenter une bonne vue d'ensemble de l'évolution de la tourbe oligotrophe, en fonction de la végétation. Les conclusions sont valables pour la chaîne du Jura avant tout et sont à considérer comme des premiers jalons. Fondées sur un nombre relativement faible d'échantillons, elles se sont toutefois vues confirmées en bonne partie par les travaux de GROSVERNIER (1984) et MATTHEY (1984). Un travail statistique, englobant un éventail encore plus large de tourbes, est en préparation (GOBAT, GROSVERNIER et MATTHEY, à paraître).

Une généralisation de nos propos à d'autres régions ne pourrait se faire qu'en tenant compte de toute l'épaisseur de la tourbe et en établissant de manière précise les variations du régime hydrique.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

A. *Sphagno-Caricetum* (Cariçaie)

Cette tourbe, en formation actuellement, présente des caractères très particuliers par rapport à d'autres tourbes oligotrophes :

— elle est très homogène sur au moins 1 m de profondeur, contrairement à la tourbe climacique (DOMERGUE, 1981 ; GOBAT, 1984) ;

— les mêmes objets figurés se retrouvent dans toutes les fractions (feuilles de sphaignes et gaines de *Carex)*. Seule leur taille, donc leur dégradation physique, varie ;

— le rapport AF/AH, très élevé, signale une forte prédominance de composés organiques à faible masse moléculaire, ce qui est typique ici de résidus végétaux peu humifiés ;

— un léger changement apparaît toutefois dès 10 à 15 cm de profondeur (baisse du taux de fibres, augmentation de l'indice « pyro », augmentation des monophénols), qui trahit l'état antérieur de cette jeune tourbe, plus proche alors de conditions mésiques.

B. *Sphagnetum magellanici* (Haut-marais)

Ce groupement est typique de la tourbière ancienne, mais non boisée. A la différence du précédent, le sol montre des horizons mieux marqués, en surface déjà. On note surtout une diminution des fibres grossières au profit des petites et un taux de particules fines plus élevé. On observe aussi une dégradation physique des fibres, mais sans transformation nette des composés chimiques.

Toutes les espèces végétales sont typiques d'une tourbière bombée. On ne retrouve aucune relique des débuts d'établissement de la tourbière.

C. *Pino-Sphagnetum* (pinède)

Ce groupement représente le stade ultime de l'évolution naturelle des tourbières oligotrophes. Il croît sur un sol à horizons plus différenciés. DOMERGUE (1981) constate notamment une zone plus décomposée vers 15 cm de profondeur, à éléments très fins et noirâtres, que nous confirmons ici.

Cet horizon, à taux de cendres assez élevé, présente un taux de fibres nettement plus faible que ceux qui lui sont superposés (49 % contre 84 %). L'indice « pyro » est élevé, ce qui signale une décomposition plus active. La dégradation physique des cellules est rapide ; elle est rendue plus facile encore par l'abaissement de la nappe, suite à l'action des pins, et ceci même si l'horizon le plus dégradé n'est pas le plus éloigné de la nappe.

Ce n'est paradoxal qu'en apparence : les horizons de surface (C1 et C2) sont en effet formés du même type de végétation que dans le haut-marais (buttes de sphaignes vivantes, à rétention d'eau très forte). Par contre, l'horizon « profond » C3, plus dégradé, situé au-dessus de la nappe, se trouve aussi *sous* la couche de sphaignes vivantes. Il est en quelque sorte entre deux zones très riches en eau :

— la couche de sphaignes vivantes au-dessus (éponge)

— la nappe proprement dite au-dessous.

Il subit ainsi une alternance de phases très humides et moins humides, au gré des variations de la nappe et des pluies, alternance particulièrement favorable à la dégradation (DUCHAUFOUR, 1978).

D. *Sphagno-Piceetum* (pessière)

Ce groupement est caractérisé par une tourbe évoluant vers un mor forestier, par une double action des épicéas :

— baisse nette du niveau de la nappe (— 55 cm)

— formation d'une litière d'aiguilles plus sèche que sous les pins.

Les horizons étudiés ne sont que très faiblement stratifiés. Les conditions du

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

milieu font que la dégradation de la litière, lente par rapport à d'autres forêts, semble tout de même un peu plus rapide que dans la pinède :

— taux de fibres de 68 %, dont les 3/4 sont inférieurs à 2 mm ;

— indice « pyro « assez élevé, traduisant une quantité importante de produits extractibles. Parmi eux, les diphénols sont bien représentés, connus comme produits de décomposition de la lignine. Ils diminuent avec la profondeur, comme s'ils étaient évacués rapidement du profil.

E. Lande à *Calluna vulgaris* (tourbe nue)

a) CONDITIONS D'ETABLISSEMENT

Groupement de substitution de la pinède, la lande colonise la tourbe nue, raclée en surface, après déboisement et drainage. Elle occupe de vastes surfaces dans les tourbières jurassiennes (MATTHEY, 1964) et empêche tout retour spontané à la pinède, les changements de conditions étant trop brutaux :

— mise à nu de la tourbe (influence accrue des conditions climatiques extrêmes) ;

— souvent, baisse du niveau moyen de la nappe, avec en même temps possibilité d'inondation de la surface ;

— suppression des « tampons » que constituent le tapis de sphaignes ou d'éricacées et les pins ;

— élimination des couches de tourbe les plus riches en éléments nutritifs.

Ces nouvelles conditions sont totalement défavorables aux sphaignes, en particulier les colonisatrices, remplacées par *Polytrichum strictum.*

b) CRITERES D'EVOLUTION

Comparés à l'horizon profond de la pinède, les horizons de la lande présentent l'évolution suivante, après 40 ans de mise à nu de la tourbe :

— une dégradation physique nette, qui voit la disparition des fibres grossières, les classes fines restant inchangées. Les observations micro-morphologiques montrent des cellules très déchirées ;

— une décomposition chimique tout aussi nette (indice « pyro », phénols) ;

— une teneur en cendres plus faible de moitié, due à une lixiviation importante, en particulier par ruissellement de surface. Ceci contribue à l'appauvrissement de la tourbe en éléments nutritifs ;

— un TEX plus élevé et un rapport AF/AH plus faible en moyenne, mais avec des valeurs proches dans les fractions fines.

Le changements des caractères concernent avant tout les fibres, car les fractions fines présentent des aspects « évolués » au sein de la tourbe climacique déjà. *Après 40 ans, les modifications stationnelles semblent toucher surtout le matériel grossier.*

c) CAUSES DE L'EVOLUTION

L'observation des résultats montre une différence fondamentale par rapport aux autres groupements, et particulièrement à la pinède. Il s'agit du seul profil où la dégradation est la plus marquée en surface (0-3 cm), alors que partout ailleurs la tourbe est plus évoluée en profondeur (dès 10 cm).

Déterminée normalement par l'action de la microflore et de la faune du sol, la dégradation n'apparaît ici que peu inféodée à ces facteurs. Sans les ignorer totalement, il nous semble toutefois qu'une importance particulière doive être attribuée à des causes physiques, et spécialement climatiques :

— les variations annuelles de température sont très importantes à la surface de la tourbe nue, qui gèle rapidement en automne, avant l'arrivée de la neige, et qui, à l'opposé, s'échauffe considérablement en été (matériel noir) ;

— les variations d'humidité sont aussi très importantes ; en cas de fortes pluies, un ruissellement de surface rend le sol très spongieux et collant à la fois. Lors les

périodes sèches, il se forme par contre une croûte durcie de 2 cm d'épaisseur, très difficile à réhumecter.

L'absence de protection amène globalement une accentuation des écarts de tous les paramètres climatiques.

Contrairement à ce qu'un survol rapide des résultats pourrait laisser penser, *la tourbe plus décomposée, plus « évoluée », n'est pas plus favorable à la végétation que la tourbe fibrique intacte.* L'évolution de cette tourbe ne se fait pas vers un état équilibré, stable au point de vue physico-chimique (grumeaux, complexe argilo-humique, etc.), qui serait favorable aux plantes. La matière organique est certes plus évoluée, mais elle n'a aucun correspondant minéral qui lui permette d'exprimer cette évolution.

Au contraire, cette décomposition aggrave les conditions déjà extrêmes de la tourbe oligotrophe. Cette tourbe « évoluée » n'est même plus favorable aux plantes pourtant frugales du haut-marais.

CONCLUSIONS

L'évolution de la végétation étudiée ici est clairement établie, grâce aux travaux cités en introduction. Les sols, au moins leurs « horizons » superficiels, présentent une succession parallèle à celle de la végétation. Le décalage observé dans d'autres séries évolutives entre la vitesse de succession de la végétation et des sols (par exemple, dans les marais de la rive sud du lac de Neuchâtel — GOBAT *et al.*, travail en cours) ne semble pas de mise ici, où il y a une bonne synchronisation des phénomènes.

Ce n'est pas très étonnant si l'on se souvient que le sol « est » la végétation, après la mort de celle-ci. L'influence de la seconde sur l'évolution du premier n'est peut-être jamais aussi rapide que dans le cas des tourbes, car il n'y a aucun « contre-poids » dû à la partie minérale du sol, quasi inexistante.

En outre, l'action de déboisement, de râclage et de drainage de la tourbe par l'homme, accentue les conditions extrêmes de la tourbe oligotrophe, même si celle-ci semble acquérir des caractères évolués.

Reçu pour publication : octobre 1984
Accepté pour publication : mars 1985

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. F. ANDREUX, responsable du Laboratoire de Biochimie du C.P.B. et M. LEVESQUE, qui ont relu le manuscrit avec beaucoup de soin, ainsi que Mme L. JOCTEUR-MONROZIER et M. M. GURY, pour des discussions intéressantes. L'appui logistique a été assuré par M. B. SOUCHIER, directeur du C.P.B., l'appui technique par l'équipe du laboratoire, auxquels va toute notre gratitude.

CHARACTERIZATION OF FIVE OLIGOTROPHIC PEATS IN SWISS JURA, REPRESENTATIVES OF A DYNAMICS OF THE VEGETATION

This study presents a few results of physico-chemical analyses done on different oligotrophic peats from the Swiss Jura Mountains.

The methods used are the following ones (fig. 1) :

- *granulometric wet sieving at 2000, 200 and 50* µm *(Results in tabl. 2)*
- *measure of the fiber content and the pyrophosphate index (fig. 2)*
- *micromorphological observations (tabl. 3)*
- *alcaline extraction with NaOH at pH = 10 ; determination of the « fulvic acids/ humic acids ratio » ; summary characterization of the humic acids (tabl. 4).*

The material was chosen according to the vegetation's dynamics, and concerns the following vegetal associations : A. Sphagno recurvi - Caricetum rostratae *(young peat) ; B.* Sphagnetum magellanici *(evolved peat) ; C.* Pino mugo - Sphagnetum *(climacic*

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

peat) ; D. Sphagno-Piceetum *(peat with rough humus) ; E.* Calluna *heath (bare degraded peat) (tabl. 1).*

The results show a clear connection between the vegetation's and the peat's evolution, all the measured parameters varying parallelly from the association A to the association E.

For example :

— the fiber content, droping from 99 % to 41,5 %
— the pyrophosphate index, increasing from 3,7 to 20,7
— the extraction ratio (NaOH), increasing from 4,5 to 12,4
— the FA/HA ratio, decreasing from 1,9 to 0,3.

The humic acids' infrared spectrum brought concordant information.

With the purpose of protecting moor swamps, the evolution, caused by human action, of a natural climacic peat to a degraded peat (Calluna *heath) is discussed in detail. The latter, although it acquires « evolved » features, shows itself to be more unfavorable to the vegetation than an intact fibric peat.*

BIBLIOGRAPHIE

ANDREUX F., 1978. — Etude de la stabilisation physico-chimique et biologique d'acides humiques - modèles. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I.

BARRIUSO E., 1982. — Révision de quelques méthodes chimiques et physiques d'analyse des acides humiques et fulviques. D.E.A. de biologie et physiologie végétale, Univ. Nancy I.

BASCOMB C., BANFIELD C. and BURTON R., 1977. — Characterization of peaty materials from organic soils (histosols) in England and Wales. Geoderma 19, 131-147.

BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979. — Pédologie II. Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris.

BRUCKERT S., ANDREUX F., CORREA A., AMBOUTA K. et SOUCHIER B., 1978. — Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. Note technique C.P.B. n° 22, CNRS Nancy.

BRUCKERT S. et GAIFFE M., 1980. — Analyse des facteurs de formation et de distribution des sols en pays calcaire glaciaire ou karstique. Ann. Sc. Univ. Besançon, 4e série, Fasc. 1, 19-67.

BUTTLER A. et CORNALI Ph., 1983. — La tourbière des Pontins sur Saint-Imier. Mat. Levé géobot. Suisse, Fasc. 59.

DAMMAN A.W.H., 1978. — Distribution and movements of elements in ombrotrophic peat bogs. Oïkos 30, 480-495.

DOMERGUE F.L., 1981. — Les tourbes : matière organique, minéralisation et classification. E.P.F. Lausanne, Péd. 8.

DORMAAR J.F., 1967. — Infrared spectra of humic acids from soils formed under grass or trees. Geoderma 1, 37-45.

DUCHAUFOUR Ph., 1978. — Pédologie I : Pédogenèse et classification. Masson, Paris.

FOLIN-CIOCALTEU, 1927. — Méthode de dosage des diphénols. AOAC.

FOLIN-DENIS, 1960. — Dosage des monophénols. J. Biol. Chemistry 73, 627.

GAIFFE M., 1978. — Observations pédologiques dans la plaine de Bonnevaux-Frasne. C.U.E.R. Besançon, pp. 187-206.

GALLANDAT J.-D., 1982. — Prairies marécageuses du Haut-Jura Mat. Levé géobot. Suisse, Fasc. 58.

GOBAT J.-M., 1984. — Ecologie des contacts entre tourbières acides et marais alcalins dans le Haut-Jura suisse. Thèse Univ. Neuchâtel.

GOBAT J.-M., GROSVERNIER Ph. et MATTHEY Y., à paraître. — Les tourbes oligotrophes du Jura. Cahier Soc. Suisse Pédol.

GOETTLICH K.H., 1980. — Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

GROSVERNIER Ph., 1984. — L'étang de la Gruère. Phytosociologie et éléments d'écologie. Trav. lic. Univ. Neuchâtel.

KAILA A., 1956. — Determination of the degree of humification in peat samples. Maatalous Ackakaoushiva 28, 18-35.

LEVESQUE M., 1981. — Les propriétés physiques, chimiques et morphologiques de quelques tourbes du Québec et de l'Ontario. Dir. gén. de la Recherche. Agriculture Canada IRT 62.

LEVESQUE M. and DINEL H., 1977. — Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in Eastern Canada. Canada J. Soil Sci. 57, 187-195.

LEVESQUE M., DINEL H. et MARCOUX R., 1980. — Evaluation des critères de différenciation pour la classification de 92 matériaux tourbeux du Québec et de l'Ontario. Can. J. Soil Sci. 60, 479-486.

MATTHEY W., 1964. — Observations écologiques dans la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois). Bull. Soc. neuch. Sci. nat. Tome 87, 103-135.

MENUT G., 1974. — Recherches écologiques sur l'évolution de la matière organique des sols tourbeux. Thèse Univ. Nancy I.

RAFIDISON Z., 1982. — Thèse CPB/CNRS, Univ. Nancy:

RICHARD J.-L., 1961. — Les forêts acidophiles du Jura. Mat. Levé géobot. Suisse, Fasc. 38.

ROYER J.-M., VADAM J.-Cl., GILLET F., AUMONIER J.-P. et AUMONIER M.-F., 1978. — Etude phytosociologique des tourbières acides du Haut-Doubs. Réflexion sur leur régénération et leur genèse. Coll. phyt. Lille VII, 295-344.

SSSA, 1974. — Histosols. SSSA Special Publ. Series, Madison, USA.